

#7
priority
3862
253



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

JC912 U.S. PTO
09/748492
12/26/00

Aktenzeichen: 199 62 997.8

Anmeldetag: 24. Dezember 1999

Anmelder/Inhaber: Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems

IPC: G 01 D, D 01 C, B 60 K

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Oktober 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hoiß

24302702526

23.12.99 Wj

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10 Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems

Stand der Technik

15

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems, insbesondere eines Bildverarbeitungssystems, nach der Gattung des Hauptanspruchs.

20

Es ist an sich bekannt, dass Bildaufnahme- und andere Sensorsysteme als ein Baustein eines Fahrzeugsicherheitssystems im Straßenverkehr angewendet werden. Hierbei werden ständig Informationen über den Abstand und die Relativgeschwindigkeit des Fahrzeuges im Verhältnis zu anderen Objekten, d.h. anderen Fahrzeugen und zu den Straßengegebenheiten, verarbeitet. Die Bildaufnahmesysteme und ggf. auch Radarsensoren werden zur Messung geometrischer Größen im Fahrzeugumfeld verwendet, wobei die Radarsensoren für sich gesehen beispielsweise aus der DE 42 42 700 A1 bekannt sind. Mit dieser bekannten Anordnung kann beispielsweise eine Geschwindigkeitsregelung im Fahrzeug derart erweitert werden, dass die Fahrgeschwindigkeit an langsamere vorausfahrende Fahrzeuge angepasst wird, wenn diese von den Sensorsystemen im voraussichtlichen Kursbereich des Fahrzeugs erfasst werden. Der Kursbereich kann dabei beispielsweise mit Hilfe von

30

35

Gierraten-, Lenkwinkel-, Querbeschleunigungssensoren, über die Radgeschwindigkeiten, oder auch mit den erwähnten Bildverarbeitungs- oder mit Navigationssystemen bestimmt werden.

5

10

15

20

Für eine einwandfreie Funktion des Systems ist im Prinzip eine vorherige Kalibrierung des Sensorsystems oder der Einzelsensoren im Fahrzeugumfeld zur anschließenden genauen Messung geometrischer Größen wie Längen, Geschwindigkeiten erforderlich, die vor oder nach Einbau der Sensoren ins Fahrzeug in laborähnlicher Umgebung erfolgt. Die verschiedenen Kalibrierungsverfahren erfordern in der Regel eine gezielte Bewegung der Sensoren bzw. der von der Sensorik erfaßten Objekte. Häufig ist sogar die Betrachtung eines speziellen Kunstobjektes erforderlich, das entsprechend als Kalibrierfeld bezeichnet wird. Um eine dauerhafte Funktionssicherheit zu gewährleisten ist auch eine spätere wiederholte Kontrolle der Kalibrierung auf mögliche Veränderungen notwendig, die sehr aufwendig sein kann.

25

Für sich gesehen ist aus der EP 0 602 013 B1 bekannt, dass zur Kalibrierung eines Koppelnavigationssystems Umgebungsinformationen, die beispielsweise aus einer Straßenkarte bekannt sind, herangezogen werden. Hierbei werden Informationen über den eigenen Fahrzeugzustand in Verbindung mit den aus der Karte bekannten Umgebungsinformationen verarbeitet.

30

Vorteile der Erfindung

35

Ein Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems, mit dem eine Erfassung und Auswertung von Objekten im Kursverlauf eines Fahrzeuges durchgeführt wird, ist erfindungsgemäß so aufgebaut, dass mit dem Sensorsystem in vorteilhafter Weise

charakteristische Daten der Objekte, einschließlich der
Fahrbahn, erfasst werden und die Daten, die unter
Berücksichtigung der Eigenbewegung des Fahrzeugs als ruhende
oder quasi ruhende Objekte erkannt werden, einer
5 Kalibrierungseinheit zugeführt werden. In dieser
Kalibrierungseinheit werden die Abweichung der aktuell
gemessenen Daten von Daten eines Modells der Objekte als
Fehlervektor ermittelt und zur Korrektur der Daten des
Modells in Richtung auf eine Minimierung der Abweichung,
10 z.B. mit einem iterativen Verfahren, herangezogen.

Mit der Erfindung kann in besonders vorteilhafter Weise eine
automatische Kalibrierung eines eingangs beschriebenen
Sensorsystems und darüber hinaus eine spätere automatische
15 Überprüfung einer einmal gewonnenen Kalibrierung
durchgeführt werden. Hierzu sind außer der an sich bekannten
Sensorelemente in der Fahrzeugumgebung und einer Auswerte-
bzw. Kalibrierungseinheit keine weiteren Hilfsmittel
erforderlich.

20 Auch speziell durchgeführte Bewegungen des Fahrzeugs, die
bislang eigens zum Zweck der Kalibrierung durchzufahren
waren, sind verzichtbar, da die erfindungsgemäße
Kalibrierung vielmehr die Eigenbewegung der Fahrzeuge im
Betrieb sowie das Wissen nutzt, daß Objekte der
2 dreidimensionalen Welt häufig starr sind, bzw. sich
ganzheitlich bewegen und die Kalibrierung der Sensoren über
einen längeren Zeitraum stabil ist. Hierbei ist die
Kalibrierung der Sensorik quasistationär, d.h. allenfalls
30 langsam veränderlich. Auch heuristische Annahmen über
typisches Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer (z.B.
Spurhalten), die in praktischen Anwendungen zu
Fehlfunktionen führen können, sind für dieses Verfahren
nicht erforderlich. Eine wesentliche Eigenschaft der
35 Erfindung ist somit, dass eine Kalibrierung möglich wird,

welche die messbaren Größen möglichst gut erfasst. Die Forderung nach einer sog. wahren Kalibrierung, wie sie bei Laborkalibrierungen gestellt wird, ist hier nur zweitrangig.

5 Fertigungstechnisch ist darüber hinaus der Einbau
unkalibrierter Sensoren besonders vorteilhaft, da die
Kalibrierung eines Sensors oftmals empfindlich gegen
mechanische oder thermische Beanspruchung ist. Somit ist
nicht nur die Fertigung vereinfacht, sondern es ist auch
10 eine spätere Berücksichtigung von Einflüssen des Einbaus
oder von anderen Veränderungen der Sensorik, bzw. des
Fahrzeugs, auf die Kalibrierung auf einfache Weise
durchführbar. Darüber hinaus kann die Kalibrierung auch
jederzeit überprüft werden.

15 Nach einer besonders vorteilhaften Ausführung des
erfindungsgemäßen Verfahrens wird in einer
Initialisierungsphase mit vorgebbaren Parametern eine erste
Erfassung der Objektdaten vorgenommen, die als Modelldaten
20 gespeichert werden. In allen zyklisch darauf folgenden
Messungen werden die jeweils aktuellen Objektdaten mit den
zuvor erfassten gespeicherten Modelldaten zur Gewinnung des
jeweiligen Fehlervektors in der Kalibrierungseinheit
verarbeitet.

25 Während der Verarbeitung der Daten in der
Kalibrierungseinheit werden die jeweils aus den vorherigen
Messungen wiederkehrenden Objektdaten ausgewählt, wobei
nicht wieder gefundene Objektdaten gelöscht sowie jeweils
30 neu hinzugekommene Objektdaten aufgenommen werden. Die
Objektdaten, die nach mehrmaligen Messungen aus
unterschiedlichen Positionen des Fahrzeugs heraus eine
Verkleinerung des jeweiligen Konfidenzintervalls aufweisen,
werden als zu einem ruhenden oder quasi ruhenden Objekt
35 gehörenden Daten gekennzeichnet.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann darüber hinaus auch aus aufeinanderfolgenden Objektdaten eine übereinstimmende Relativgeschwindigkeit von Objekten und daraus auch die
5 Eigenbewegung des Fahrzeugs ermittelt werden. Die Objektdaten, die einem Objekt mit dieser gleichen Relativgeschwindigkeit zuzuordnen sind, können dabei als zu einem ruhenden oder quasi ruhenden Objekt gehörenden Daten gekennzeichnet werden. In vorteilhafter Weise kann als
10 Eigenbewegung des Fahrzeugs z.B. auch eine Rotationsbewegung des Fahrzeuges durch Nickbewegungen und/oder durch Kurvenfahrten herangezogen werden.

Die Ergebnisse der Kalibrierung eines Sensors des
15 Sensorsystems können auf einfache Weise auf einen oder mehrere weitere Sensoren am Kraftfahrzeug zur Kalibrierung auch dieser Sensoren übertragen werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist somit eine gemeinsame Kalibrierung der meisten Fahrzeugsensoren nach dem Einbau
20 möglich, ohne spezielle Randbedingungen zu erfordern. Insbesondere die Kombination von Sensoren, wie Kamera, Radar, Radsensor, Beschleunigungssensor ist hier vorteilhaft; aber auch eine Anwendung in Zusammenhang mit Lidar- oder Ultraschallsensoren ist möglich.

Für den Fall, dass der oder die Sensoren des Sensorsystems widersprüchliche Messdaten erstellen, kann beispielsweise eine Signalisierung an eine Auswerteeinheit oder an den Fahrer des Fahrzeugs erfolgen.

30 Die Erfindung dient somit in vorteilhafter Weise der Durchführung einer Kalibrierung mit gutem Ergebnis ohne eine spezielle Kalibrieranordnung oder Kalibrierbewegungsfolge zu erfordern. Das Sensor- bzw. Auswertesystem kann sich hierbei
35 vollständig oder weitgehend selbsttätig kalibrieren und die

Genauigkeit und Zuverlässigkeit seiner Kalibrierung bestimmen. Parameter, die nicht oder noch nicht kalibriert sind, sind durch eine unendliche Ungenauigkeit gekennzeichnet. Insbesondere bemerkt das vorgestellte
5 erfindungsgemäße Verfahren grobe Veränderungen der Kalibrierung, die z.B. aufgrund thermischer oder mechanischer Verschiebungen möglich sind.

Besonders vorteilhaft kann die Erfindung angewendet werden,
10 wenn das Sensorsystem ein Bildaufnahmesystem ist, bei dem mittels einer elektronischen Kamera mit nichtlinearer Wandlerkennlinie in den Aufnahmeintervallen jeweils seriell Bildpunkte erfasst und ausgewertet werden. Viele
herkömmliche Bildaufnahmeverfahren führen die
15 Kamerakalibrierung über den Umweg der sog. Fundamentalmatrizen aus und sind deshalb auf eine zeitgleiche Aufnahme der Bildelemente (kubisches Bildraster) und synchrone Sensordaten angewiesen. Das erfindungsgemäße
Verfahren arbeitet hingegen auch mit einem beliebigen
20 Aufnahmezeitpunkt der einzelnen Bildpunkte und mit asynchronen Sensordaten. Somit ermöglicht das Verfahren insbesondere die Kalibrierung von hochauflösenden Videokameras mit nichtlinearer Kennlinie, welche in der Regel ihre Bildpunkte seriell aufnehmen.

Diese und weitere Merkmale von bevorzugten Weiterbildungen der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen
30 Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei der Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können, für die hier Schutz beansprucht wird.

Zeichnung

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems wird anhand eines Ausführungsbeispiels bei der Anwendung des Verfahrens in einem Bildverarbeitungssystem, zur Auswertung von Objekten im Kursverlauf eines Fahrzeuges, in der Zeichnung erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine Skizze eines Fahrzeugs mit einem Sensor und einem Auswerte- und Kalibrierungssystem für die Anwendung mit einer Vielzahl von Einzelsensoren einschließlich eines Bildaufnahmesystems;

Figur 2 eine erste Ablaufskizze der Kalibrierungsschritte;

Figur 3 eine zweite Ablaufskizze der Kalibrierungsschritte und

Figur 4 eine Darstellung eines Lochkameramodells zur Erläuterung der theoretischen Zusammenhänge bei der Gewinnung eines Fehlervektors im Kalibrierungsverfahren.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Figur 1 zeigt eine mögliche Ausgestaltung eines Sensorsystems zur Durchführung einer Selbstkalibrierung der Sensorelemente, das in ein System zur Erfassung des Fahrzeugumfelds in einem Fahrzeug 1, wie in der Beschreibungseinleitung erwähnt, integriert ist. In der Figur 1 sind hier nur beispielhaft als Sensoren eine elektronische Kamera als Bildaufnahmesensor 2, ein Radarsensor 3, ein Beschleunigungssensor 4 und weitere Radsensoren 5 dargestellt. Diese Sensoren 2 bis 5 können, wie aus der Figur 1 mit den Abstrahlungsfeldern und den Pfeilen

für die zu erfassenden mechanischen Größen angedeutet, auf die Erfassung der Bewegung des Fahrzeugs 1 und des vorderen Fahrzeugumfelds ausgerichtet sein.

5 Bei anwendungstypischen Gegebenheiten befinden sich im Erfassungsbereich, bzw. im Fahrzeugumfeld Objekte 6 oder sogar Gruppen von Objekten 6, die sich über einen längeren Betrachtungszeitraum nicht verformen, sondern sich
10 allenfalls als Ganzes bewegen. Beispielhaft können hierfür insbesondere die Fahrbahn, die Leitplanken oder unter Umständen auch weitere Fahrzeuge genannt werden. Die mit den Sensoren 2 bis 5 gewonnenen Daten werden beim Ausführungsbeispiel nach der Figur 1 einer oder mehreren Auswerteeinheiten 7 zugeführt, welche auch eine
15 Kalibrierungseinheit beinhalten und die Informationen über die Fahrzeugumgebung auswerten und Kalibrierung durchführen. Die Auswerteeinheit 7 ist in der Regel ohnehin zur Ermittlung von Fahrzeugumfeldinformation vorhanden und kann daher zur Bestimmung der Kalibrierungsparameter mitverwendet
20 werden.

Die Auswerteeinheit 7 benötigt für die Durchführung der Sensorkalibrierung Objektdaten, die einem Speicher 8 entnommen werden können. In der Auswerteeinheit 7 wird mit
25 der Auswertung der Objektdaten die jeweils im Speicher 8 befindliche Kalibrierungsinformation in einer weiter unten noch näher erläuterten Art und Weise verbessert. Die von der Auswerteeinheit 7 unter Zuhilfenahme der Kalibrierung berechnete Information über das Fahrzeugumfeld wird dann zur
30 Beeinflussung des Fahrzeugs 1 über eine Aktorik 9 umgesetzt und/oder informativ an den Fahrer des Fahrzeugs 1 über eine Mensch-Maschine Schnittstelle 10, z.B. einen Lautsprecher oder ein Display, weitergegeben. Die Aktorik 9 kann hierbei z.B. ein Stellsignal für die Fahrzeugbremse verarbeiten.

Anhand Figur 2 sind mögliche Verfahrensschritte bei der Durchführung der Selbstkalibrierung des Sensorsystems im Fahrzeug 1 nach der Figur 1 veranschaulicht. Hierbei werden die von den Sensorelementen 2 bis 5 gemessene Größen einer realen Welt, dargestellt durch die Blöcke 20 und 21, sogenannten modellierten Größen, dargestellt durch die Blöcke 22 und 23, gegenübergestellt. Die Differenz zwischen den gemessenen Größen und den modellierten Größen, ermittelt im Block 24, bildet im Block 25 einen Fehlervektor. Die Durchführung der Kalibrierung innerhalb der Auswerteeinheit 7 erfolgt hierbei so, dass der Fehlervektor möglichst klein wird, d.h. die Modellwelt der realen Welt möglichst gut entspricht.

Die aus den Objektdaten der Sensoren 2 bis 5 gewonnene Kalibrierungsdaten bilden gemeinsam mit Modelldaten der parametrischen Modellwelt, entsprechend der Beschreibung des Fahrzeugumfeldes, auch einem Parametervektor, der in einem Block 26 abstrakt gezeigt ist. Das Modell beinhaltet dabei neben der parametrischen Beschreibung der Welt auch die Abbildung der Welt auf durch die Sensorelemente 2 bis 5 messbaren Größen. Für das Beispiel der Anwendung einer Kamera als Bildaufnahmesensor 2 ist dies die Projektion der Welt auf die Bildfolge. Die messbaren Größen werden dann sowohl aus der parametrischen Modellwelt bestimmt als auch durch das Sensorelement 2 gemessen. Die Differenz dieser beiden Bestimmungen der messbaren Größen wird zu einem Fehlervektor gruppiert (Block 25). Der Parametervektor in Block 26 wird dann durch geeignete Verfahren, die in einem Block 27 gekennzeichnet sind, so eingestellt, dass der Fehlervektor minimal wird, d.h. er wird derart minimiert, dass die tatsächlichen Messungen und die durch das Modell in Verbindung mit dem aktuellen Parametervektor bestimmten Größen möglichst gut übereinstimmen.

Für die Durchführung eines solchen, für sich bekannten, Minimierungsverfahrens ist ein einfaches Kriterium für eine gute Übereinstimmung der Größen beispielsweise die Quadratsumme der Abweichungen. Ein hinreichend gutes Ergebnis des Minimierungsverfahrens kann beispielsweise durch ein sog. Least-Square-Verfahren gefunden werden oder es können auch weiterhin andere robuste Schätzverfahren sowie ein sog. Extended Kalman Filter bzw. ähnliche Ansätze verwendet werden. Alle diese, für sich gesehen bekannten, Verfahren erlauben die Bestimmung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Parametern und Messungen.

Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt, wie oben erwähnt, die Annahme zugrunde, dass starre Objekte 6 oder Gruppen solcher Objekte 6 im Fahrzeugumfeld existieren. Ihre Bewegung läßt sich daher durch drei Rotationsparameter und drei Translationsparameter vollständig beschreiben. Weiterhin wird angenommen, dass sich zumindest manche dieser Objekte 6 relativ zum Fahrzeug 1 bewegen, beispielsweise aufgrund der Eigenbewegung des Fahrzeugs 1. Diese Voraussetzungen sind häufig genug erfüllt, so dass eine Berechnung oder Überprüfung der Kalibrierung in kurzen Intervallen möglich ist.

Figur 3 zeigt ein weiteres mögliches Flußdiagramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens hinsichtlich der Auswertung der Objektdaten, welches im Zusammenhang mit einem sog. Lochkameramodell anhand Figur 4 erläutert werden soll. Anhand des in der Figur 3 dargestellten Flussdiagramms soll eine einfache Ausführung der Auswertung der Objektdaten nachfolgend dargelegt werden. Hierbei umfasst das zugrunde liegende Sensorsystem notwendigerweise nur eine Kamera (Sensor 2) und den Radarsensor 3. Auf die nähere Erläuterung des Flussdiagramms nach der Figur 3 wird nach einer Beschreibung der Figur 4 eingegangen.

Die Figur 4 stellt beispielhaft ein einfaches bekanntes
Abbildungsmodell für den Sensor 2 als sog. Lochkameramodell
dar und dient dabei lediglich der Begriffsdefinition. Die
5 Kalibrierparameter der Sensoren 2 und 3 werden gemeinsam mit
Modellgrößen der parametrischen Modellwelt als Beschreibung
des Fahrzeugumfeldes, wie anhand der Figur 2 erläutert, in
einem Parametervektor zusammengefaßt. Das Modell nach der
Figur 4 beinhaltet neben der parametrischen Beschreibung der
10 Welt auch die Abbildung der Welt auf die mit den Sensoren 2
und 3 messbaren Größen. Für das Beispiel der Kamera 2, bzw.
der Lochkamera nach der Figur 4, ist dies die Projektion der
Welt auf die Bildfolge. Die messbaren Größen werden dann
sowohl aus der parametrischen Modellwelt bestimmt als auch
15 durch die Sensorik gemessen. Die Differenz dieser beiden
Bestimmungen der messbaren Größen wird zu einem Fehlervektor
gruppiert. Der Parametervektor wird durch geeignete
Verfahren so eingestellt, daß der Fehlervektor minimal wird,
d.h. so, dass die tatsächlichen Messungen und die durch das
20 Modell in Verbindung mit dem aktuellen Parametervektor
bestimmten Größen möglichst gut übereinstimmen.
In der Figur 4 beschreibt der Punkt C das Projektionszentrum
durch welches alle Abbildungsstrahlen des Sensors 2
verlaufen. Die Senkrechte zur Bildebene durch das
25 Projektionszentrum C wird als optische Achse (Z-Achse)
bezeichnet. Die Z-Achse schneidet eine Bildebene B im
Bildhauptpunkt P_{BH} . Der Bildhauptpunkt P_{BH} hat in dem durch
Bildzeilen und -spalten aufgespannten
Rechnerkoordinatensystem die Koordinaten (x_r, y_r)
30 entsprechend (x_h, y_h) . Die X- und Y-Achse des
Kamerakoordinatensystems verlaufen dabei parallel zu den
Achsen des Rechnerkoordinatensystems. Als Kammerkonstante c
wird hier der Abstand des Projektionszentrums vom
Bildhauptpunkt P_{BH} , dividiert durch den Abstand zwischen
35 zwei Bildpunkten einer Bildspalte, bezeichnet. Schließlich

wird das Verhältnis des Abstandes zweier Bildpunkte innerhalb einer Bildspalte zum Abstand innerhalb einer Bildzeile als Achsenverhältnis s bezeichnet. Für das Lochkameramodell nach der Figur 4 bilden die vier genannten Parameter (x_h, y_h, c, s) die sog. intrinsischen Parameter der Kalibrierung. Damit kann die Projektion eines Objektpunktes P_o auf die Bildebene (Bildpunkt P_b) nach der folgenden Beziehung angegeben werden:

$$x_r = x_h + s \cdot c \cdot X / Z$$

$$y_r = y_h + c \cdot Y / Z \quad (1)$$

Es wird hier weiterhin angenommen, dass für die Kamera (Sensor 2) ein einfaches Lochkameramodell nach der Figur 4 zugrunde liegt, dessen intrinsische Kalibrierung die Parameter Bildhauptpunkt P_{BH} , Kammerkonstante c und die Bildachsenskalierung umfasst. Für den Radarsensor 3 sollen zusätzlich der Verschiebungsvektor T und die Rotation R zwischen Radarkoordinatensystem und Kamerakoordinatensystem kalibriert werden. Damit ergibt sich der Zusammenhang zwischen dem Kamerakoordinatensystem (X, Y, Z) und dem Radarkoordinatensystem (X_R, Y_R, Z_R) zu:

$$(X, Y, Z) = R * ((X_R, Y_R, Z_R) - T). \quad (2)$$

Die Kalibrierungsparameter der Sensoren 2 und 3 bilden dann den gesuchten Kalibrierungsvektor p_k .

Als messbare Größen werden z.B. von der Kamera (Sensor 2) die Bildkoordinaten ruhender charakteristischer Punkte an Objekten 6 (Ecken, o.ä.) und vom Radarsensor 3 die Entfernung, Winkel und Relativgeschwindigkeit von ruhenden Objekten 6 im Radarkoordinatensystem bezeichnet. Die geometrischen Parameter, aus denen sich messbare Größen mit

Hilfe der Kalibrierung anhand des Abbildungsmodells nach der Figur 4 bestimmen lassen, werden hier als Modellparameter p_m bezeichnet. Für das gewählte Beispiel sind dies die (Kamera-) Koordinaten der charakteristischen Punkte sowie die Koordinaten und die Relativgeschwindigkeit von Objekten. Das Abbildungsmodell ist für die Kamera (Sensor 2) durch die Gleichung (1) und für den Radarsensor 3 durch die Gleichung (2) gegeben. Die Modellparameter p_m bilden gemeinsam mit den Kalibrierungsparametern p_k den Parametervektor p (vgl. Block 26 aus der Figur 2).

Nach dem Flussdiagramm aus der Figur 3 wird zunächst der Parametervektor p initialisiert (Block 30), z. B. wird der Bildhauptpunkt P_{BH} willkürlich auf den Bildmittelpunkt gesetzt, als Kammerkonstante c und Achsenverhältnis werden die groben Werte, wie sie beispielsweise der Kamerahersteller angibt, verwendet. Der Verschiebungsvektor T und der Rotationsvektor R werden grob, beispielsweise mit einem Metermaß, vermessen. Da bislang weder charakteristische Bildpunkte noch Objekte vermessen wurden, enthält der Modellparametervektor p_m noch keine Parameter und die Menge der messbaren Größen wird als leer initialisiert.

In einem weiteren Schritt werden von den Sensoren 2 und 3 Messungen durchgeführt (Block 31), wobei insbesondere die in zeitlich vorhergehenden Messungen bereits ermittelten messbaren Größen in Block 32 wieder gesucht werden, sog. Tracking. Die aktuell bestehende Menge messbarer Größen wird dann nach Block 33 um neu hinzugekommene messbare Größen, wie z.B. um neu ins Bild gekommene charakteristische Punkte, erweitert. Die beim sogenannten Tracking nicht wieder gefundenen messbaren Größen werden dabei aus der Menge der messbarer Größen entfernt.

Für alle messbaren Größen werden die Modellparameter p_m und die Fahrzeugeigenbewegung zum vorherigen Meßzeitpunkt mit den zugehörigen Konfidenzintervallen mittels an sich bekannter Standardmethoden bestimmt. Nachdem beispielsweise
5 ein charakteristischer Objektpunkt P_0 das erste Mal gemessen wurde, umfasst das Konfidenzintervall dabei noch mindestens eine Gerade. Nach mehrmaligem Vermessen derselben charakteristischen Objektpunktes P_0 aus unterschiedlichen Positionen lassen sich die Modellparameter p_m und die
10 Fahrzeugeigenbewegung zunehmend genauer vermessen, so dass das entsprechende Konfidenzintervall kleiner wird. Objektpunkte P_0 mit kleinem Konfidenzintervall und zeitlich stabilen Koordinaten werden als zu ruhenden Objekten 6
gehörig gekennzeichnet und in den Modellparametervektor
15 aufgenommen. Umgekehrt werden Punkte, die nicht oder nicht mehr ruhen aufgrund veränderlicher Koordinaten, aus dem Modellparametervektor entfernt. Analog wird die Fahrzeugeigenbewegung mittels robusten Schätzverfahren aus den vom Radarsensor 3 vermessenen Relativgeschwindigkeiten
20 aller Objekte 6 ermittelt und nur die Objekte, die sich mit dieser Relativgeschwindigkeit bewegen, werden als ruhend akzeptiert und ihre Position dem Modellparametervektor zugeordnet.

25 Im Gegensatz zu Verfahren aus dem Bereich des sog. aktives Sehens ist für die anhand des Ausführungsbeispiels beschriebene Erfindung somit keine gezielte Bewegung des Fahrzeugs 1 notwendig, sondern es wird die vorhandene Bewegung des Fahrzeugs 1 ermittelt und ausgenutzt. Mit Hilfe
30 der oben aufgestellten Abbildungsgleichungen (1) und (2) werden dann die messbaren Größen aus der Modellwelt aus dem Parametervektor p nach Block 34 aus der Figur 3 ermittelt. Die Differenz zwischen dem Wert der messbaren Größen aufgrund der Sensormessung und der Modellierung wird als
35 Fehlervektor bezeichnet (Block 35), wobei auch der

Fehlervektor von den Kalibrierungsparametern abhängig ist, da die modellierten Werte von der Kalibrierung abhängen.

5 Durch eine schon erwähnte Ausgleichsrechnung kann nun der Parametervektor p nach Block 36 so variiert werden, dass der Fehlervektor kleiner wird, z.B. durch ein Least-Square-Verfahren. Anschließend können neue Messungen der Sensoren 2 und 3 hinzugefügt werden, so dass sich insgesamt ein iteratives Kalibrierungsverfahren ergibt (Block 37). Bei der
10 Durchführung der beschriebenen Verfahrensschritte stellt sich dabei eine relativ schnelle Konvergenz der Kalibrierungsparameter auf für eine geometrische Vermessungen gute Werte heraus. Besonders günstig für die Qualität der Kalibrierung ist dabei die Zugrundelegung der
15 Rotationsbewegungen des Fahrzeugs 1, wie sie in der Praxis durch Nickbewegungen oder durch Kurvenfahrten auftreten.

23.12.99 Wj

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Ansprüche

15

1. Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems, mit dem eine Erfassung und Auswertung von Objekten im Kursverlauf eines Fahrzeuges (1) durchgeführt wird, bei dem

20

- mit dem Sensorsystem (2,3,4,5) charakteristische Daten der Objekte (6) erfasst werden und die Daten, die unter Berücksichtigung der Eigenbewegung des Fahrzeuges (1) als ruhende oder quasi ruhende Objekte (6) erkannt werden, einer Kalibrierungseinheit (7) zugeführt werden und bei dem
- die Abweichung der aktuell gemessenen Daten von Daten eines Modells der Objekte (6) als Fehlervektor ermittelt (25;35) und zur Korrektur der Daten des Modells in Richtung auf eine Minimierung der Abweichung herangezogen wird (27,26;36,37).

25

30

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- nach einer Initialisierungsphase (30) mit vorgebbaren Parametern eine erste Erfassung (20,21;31,32) der Objektdaten vorgenommen wird, die als Modelldaten gespeichert werden (22;33) und dass
 - in allen zyklisch darauf folgenden Messungen die jeweils aktuellen Objektdaten mit den zuvor erfassten gespeicherten Modelldaten zur Gewinnung des

35

jeweiligen Fehlervektors in der Kalibrierungseinheit
verarbeitet werden (25,26;34,35).

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- während der Verarbeitung der Daten in der
Kalibrierungseinheit (7) die jeweils in den
vorherigen Messungen gewonnenen Objektdaten
ausgewählt werden, wobei nicht wieder gefundene
Objektdaten gelöscht und jeweils neu hinzugekommene
Objektdaten aufgenommen werden und dass
- die Objektdaten, die nach mehrmaligen Messungen aus
unterschiedlichen Positionen des Fahrzeugs (1) heraus
eine Verkleinerung des jeweiligen Konfidenzintervalls
aufweisen, als zu einem ruhenden oder quasi ruhenden
Objekt (6) gehörenden Daten gekennzeichnet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet,
dass

- aus aufeinanderfolgenden Objektdaten eine
übereinstimmende Relativgeschwindigkeit von Objekten
und daraus die Eigenbewegung des Fahrzeugs (1)
ermittelt wird und dass
- die Objektdaten, die einem Objekt (6) mit dieser
gleichen Relativgeschwindigkeit zuzuordnen sind, als
zu einem ruhenden oder quasi ruhenden Objekt (6)
gehörenden Daten gekennzeichnet werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass

- als Eigenbewegung des Fahrzeugs (1) eine
Rotationsbewegung des Fahrzeuges (1) durch
Nickbewegungen und/oder durch Kurvenfahrten
herangezogen wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, .
dadurch gekennzeichnet, dass

- das Sensorsystem ein Bildaufnahmesystem als Sensor
(2) beinhaltet, bei dem mittels einer elektronischen
5 Kamera mit nichtlinearer Wandlerkennlinie in den
Aufnahmeintervallen jeweils seriell Bildpunkte
erfasst und ausgewertet werden.

10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass

- die Ergebnisse der Kalibrierung eines Sensors (2) des
Sensorsystems auf einen oder mehrere weitere Sensoren
(3,4,5) am Fahrzeug (1) zur Kalibrierung auch dieser
Sensoren übertragen werden.

15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass

- für den Fall, dass ein oder die Sensoren (2,3,4,5) des
Sensorsystems widersprüchliche Messdaten erstellen,
20 eine Signalisierung an eine Auswerteeinheit oder an
den Fahrer des Fahrzeugs (1) erfolgt.

23.12.99 Wj

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems

Zusammenfassung

15

20

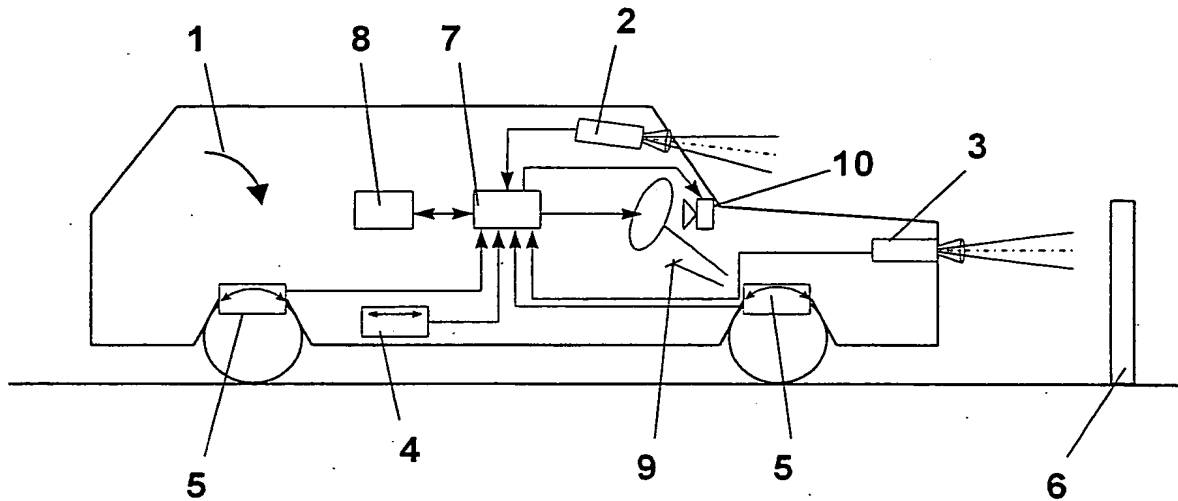
25

Es wird ein Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems vorgeschlagen, mit dem eine Erfassung und Auswertung von Objekten im Kursverlauf eines Fahrzeuges (1) durchgeführt wird. Bei dem Verfahren werden mit dem Sensorsystem (2,3,4,5) charakteristische Daten der Objekte (6) erfasst und die Daten, die unter Berücksichtigung der Eigenbewegung des Fahrzeuges (1) als ruhende oder quasi ruhende Objekte (6) erkannt werden, einer Kalibrierungseinheit (7) zugeführt. In der Kalibrierungseinheit (6) werden die Abweichung der aktuell gemessenen Daten von Daten eines Modells der Objekte (6) als Fehlervektor ermittelt (25;35) und zur Korrektur der Daten des Modells in Richtung auf eine Minimierung der Abweichung herangezogen (27,26;36,37).

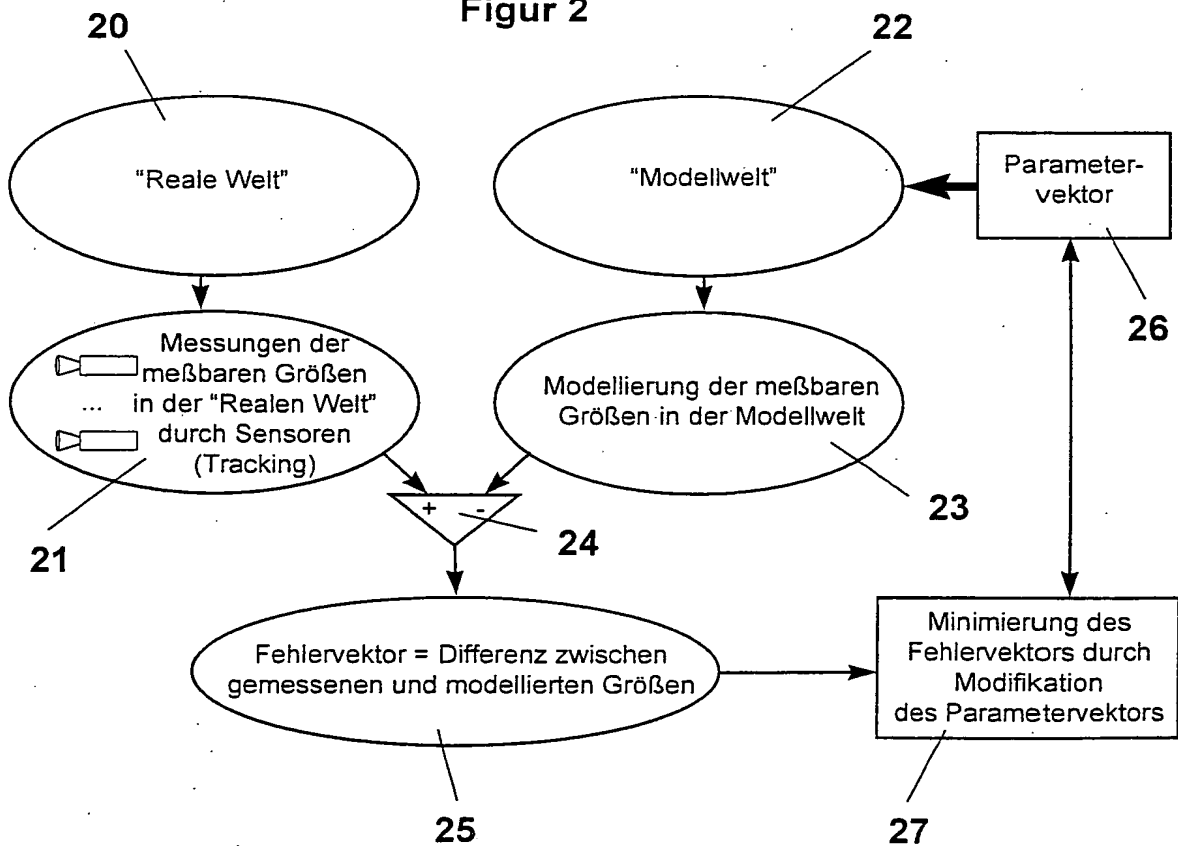
30

(Figur 1)

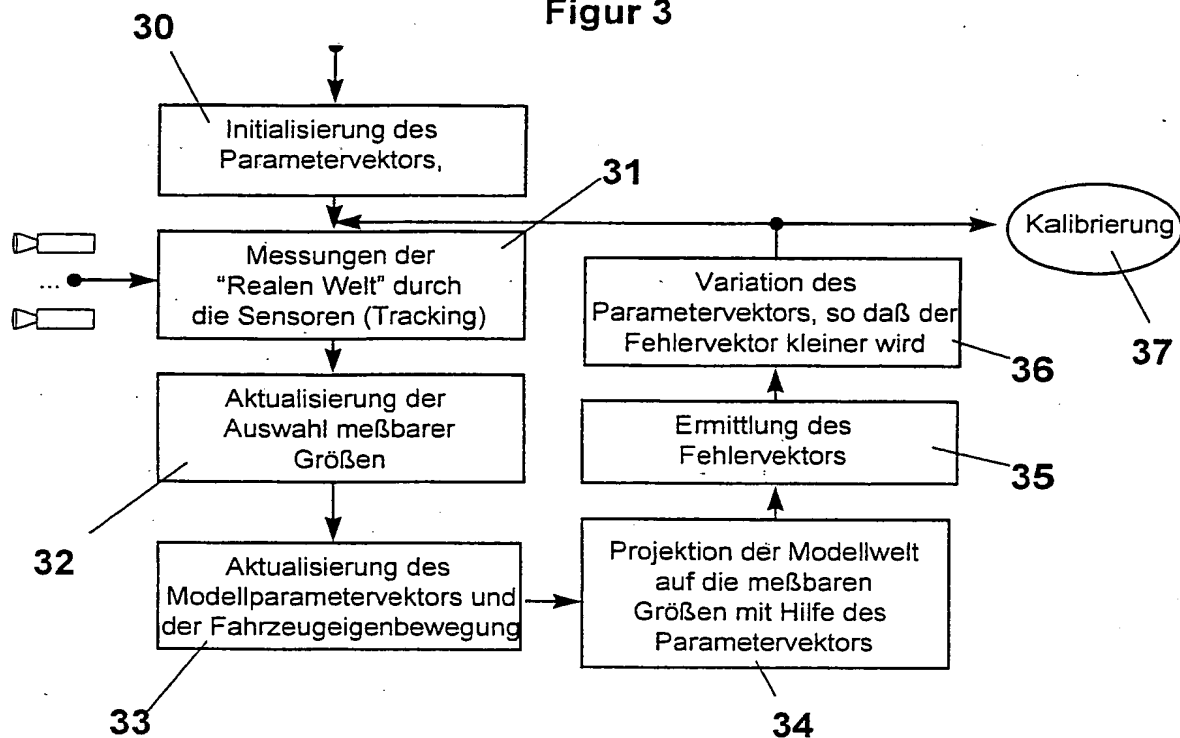
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

